



① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 49 265 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 R 33/09**  
G 01 R 17/00  
G 01 B 7/30

⑳ Aktenzeichen: 196 49 265.3  
㉑ Anmeldetag: 28. 11. 96  
㉒ Offenlegungstag: 4. 6. 98

DE 196 49 265 A 1

㉓ **Anmelder:**  
Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V.,  
07743 Jena, DE

㉔ **Vertreter:**  
R.-G. Pfeiffer und Kollegen, 07743 Jena

㉕ **Erfinder:**  
Mattheis, Roland, Dipl.-Phys. Dr., 07743 Jena, DE;  
Straßer, Torsten, Dipl.-Phys., 07751 Bucha, DE

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**

DE 1 95 32 674 C1  
DE 1 95 20 206 A1  
DE 43 17 512 A1  
DE 43 01 704 A1  
DD 2 56 628 A3

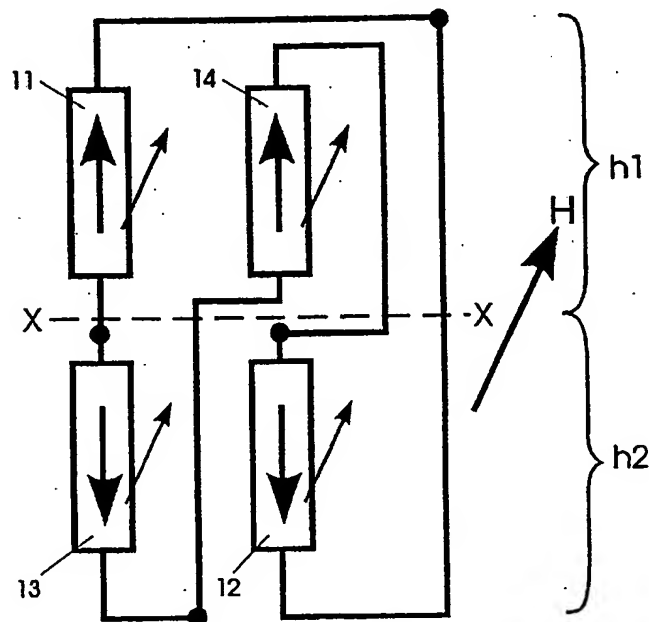
HELMOLT, von, R., u.a.: Giant Negative  
Magnetoresistance in Perovskitelike La 2/3  
Ba 1/3 MnOx Ferromagnetic Films, In: Physical  
Review Letters, Vol. 71, Nr. 14, 1993, S. 2331-233  
3;  
PARKIN, S.S.P., u.a.: Oscillatory Magnetic  
Exchange Coupling through Thin Copper Layers,  
In:  
Physical Review Letters, Vol. 66, Nr. 16, 1991,  
S. 2152-2155;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **GMR-Sensor mit neuartiger Wheatstonebrücke**

⑤⑤ Die Erfindung betrifft einen GMR-Sensor mit neuartiger Wheatstonebrücke unter Verwendung von Giant Magnetowiderstandsmaterialien (GMR), der zur Messung kleiner Felder oder Drehwinkel Verwendung findet. Die Aufgabe, eine magnetoresistive Wheatstonebrückenschaltung anzugeben, die eine Verwendung von Spin-Valve-Schichtsystemen für die einzelnen Brückenelemente ermöglicht, wird dadurch gelöst, daß für die einzelnen Wheatstonebrückenelemente (11, 12, 13, 14) Dünnschichtstreifenleiter eingesetzt sind, wobei die je eine Halbbrücke bildenden Brückenelemente (11 und 12; 13 und 14) in solcher Weise miteinander elektrisch verschaltet und angeordnet sind, daß das erste Brückenelement (11) der ersten Halbbrücke (11, 12) mit dem zweiten Brückenelement (14) der zweiten Halbbrücke (13, 14) benachbart zu einer Achse (X-X) dem ersten Brückenelement (13) der zweiten Halbbrücke (13, 14) und dem zweiten Brückenelement (12) der ersten Halbbrücke (11, 12) gegenübersteht und den auf je einer Halbseite (h1; h2) zusammengefaßten Brückenelementen (11 und 14; 12 und 13) jeweils eine parallele Magnetisierung aufgeprägt ist, wobei die Magnetisierung der Brückenelemente (11 und 14; 12 und 13) sich gegenüberstehender Halbseiten (h1, h2) zueinander antiparallel festgelegt ist.



Die Erfindung betrifft einen GMR-Sensor mit neuartiger Wheatstonebrücke unter Verwendung von Giant Magnetowiderstandsmaterialien (GMR), die bezüglich ihres magnetoresistiven Effektes isotrope Eigenschaften und einen sehr großen magnetoresistiven Effekt aufweisen. Solche Sensoren werden bevorzugt zur Messung kleiner magnetischer Felder verwendet und als berührungslos messende Winkeldetektoren eingesetzt.

Zur betrags- und richtungsmäßigen Messung von Magnetfeldern werden nach dem Stand der Technik magnetoresistive Streifenleiter eingesetzt, die anisotrop bzgl. ihrer magnetoresistiven Eigenschaften und i.a. als Wheatstonebrücke verschaltet sind (vgl. z. B. DD. 256 628, DE 43 17 512). Die dabei zum Einsatz gelangenden magnetoresistiven Streifenleiter weisen bzgl. eines äußeren Magnetfeldes anisotrope Widerstandsänderungen auf, was für den Verwendungszweck z. B. als Drehwinkelgeber eine wünschenswerte Eigenschaft ist. Solche Streifenleiter, z. B. auf der Basis von Permalloy, zeigen jedoch nur maximale Widerstandsänderungen von ca. 2-3%, weswegen ein relativ hoher elektronischer und herstellungsmäßiger Aufwand betrieben werden muß.

Des weiteren sind auch Materialien bzw. Bauformen mit einem sogenannten Giant Magnetowiderstand bekannt geworden (vgl. z. B. S.P.P. Parkin et al., Oscillatory magnetic exchange coupling through thin copper layers, Phys. Rev. Lett., Vol. 66, S. 2152ff., 1991 und R. von Helmolt et al., Giant Negative Magnetoresistance in Perovskitlike  $\text{La}_{2/3}\text{Ba}_{1/3}\text{MnO}_x$  Ferromagnetic Films, Phys. Rev. Lett., Vol. 71, No. 14, S. 2331ff., 1993). Diese Klasse von Materialien bzw. Bauformen weisen magnetoresistive Widerstandseffekte auf, die die üblicherweise verwendeter magnetoresistiver Materialien um eine bis mehrere Größenordnungen übersteigen. Der Nachteil dieser Materialien für den angestrebten Verwendungszweck besteht jedoch darin, daß sie keinen anisotropen Widerstandseffekt aufweisen.

Magnetoresistive Sensoren werden in bekannter Weise in Form von Wheatstonebrücken ausgebildet, um Umwelteinflüsse wie Temperaturänderungen auf das Meßsignal zu minimieren oder total zu unterdrücken. Der Aufbau derartiger Wheatstonebrücken setzt voraus, daß sich benachbarte Brückenarme einer Halbbrücke bei Einwirkung eines äußeren magnetischen Feldes bzgl. der magnetoresistiven Widerstandsänderung entgegengesetzt verhalten. Dies ist bei Verwendung von anisotropen magnetischen Materialien, wie bei dem in klassischen MR-Sensoren verwendeten Permalloy ( $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ ) vergleichsweise einfach realisierbar, indem durch zueinander senkrechte Ausrichtung von zwei MR-Streifenleitern innerhalb einer Halbbrücke oder durch die Verwendung von Barbpole die Richtung des in dem magnetoresistiven Brückenarmen fließenden Stromes unterschiedlich eingepreßt ist. Im Falle von isotropen Widerstandssystemen, wie z. B. Systemen mit Giant Magnetowiderstandseffekt, führen die bisher verwendeten Lösungsansätze jedoch zu keiner befriedigenden Lösung. Ein möglicher Lösungsansatz wurde für Drehwinkelsensoren für antiferromagnetisch gekoppelte Viellagenschichten oder Schichtsysteme mit einem kolossalen Magnetowiderstandseffekt bspw. in DE 195 32 674 C1 aufgezeigt. Dort wird durch eine geeignet geformte Geometrie von weichmagnetischen, als magnetische Sammler wirksamen Antennengeometrien eine Änderung der auf benachbarte Brückenarme wirkenden Magnetfelder erreicht. Dieser Lösungsansatz bewirkt zwar den gewünschten Effekt, jedoch ist er mit zusätzlichen Strukturen und diffizilen Strukturierungsprozessen verbunden und nur für eine Drehwinkelmessung geeignet.

Weiterhin sind Schichtsysteme mit einem sogenannten Spin-Valve-Effekt bekannt, die vorzugsweise zur Detektion kleiner Felder oder auch zur Winkeldetektion verwendet werden (vgl. z. B. DE 43 01 704 A1). Diesen Schichtsystemen ist gemeinsam, daß sie aus magnetischen Einzelschichten bestehen, bei denen idealerweise eine Sensorschicht magnetisch leicht drehbar und eine Biasschicht magnetisch unbeweglich ist. Diese Schichten können bislang nur als einzelne magnetoresistive Streifensensoren betrieben werden, womit zwar vergleichsweise hohe Signale erhaltbar sind, jedoch auch alle weiteren Störeinflüsse, wie Temperaturschwankungen, das Meßsignal beeinflussen.

Vorliegender Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine magnetoresistive Wheatstonebrückenschaltung anzugeben, die eine Verwendung von Spin-Valve-Schichtsystemen für die einzelnen Brückenelemente ermöglicht.

Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des ersten Patentanspruchs gelöst. Das Wesen der Erfindung besteht in einer neuartigen Anordnung der einzelnen Brückenelemente innerhalb einer Wheatstonebrücke zueinander, wobei die gesamte, wenigstens eine Wheatstonebrücke umfassende Anordnung einen einheitlichen magnetischen Formierungsprozeß zwecks Aufprägung definierter Magnetisierungsrichtungen innerhalb der Biasschichten der einzelnen Brückenelemente erfahren hat.

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels und schematischer Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1a den Aufbau eines Spin-Valve-Schichtsystems mit einer hartmagnetischen Biasschicht, gebildet durch eine antiferromagnetische Schicht sowie eine ferromagnetische Schicht, und einer weichmagnetischen Sensorschicht,

Fig. 1b den Aufbau eines Spin-Valve-Schichtsystems mit einem künstlichen Antiferromagneten als hartmagnetischer Biasschicht und einer weichmagnetischen Sensorschicht,

Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau einer Wheatstone-Vollbrücke mit vier Brückenarmen, die je aus einem Spin-Valve-Schichtsystem nach Fig. 1a oder Fig. 1b gebildet sind, wobei die Pfeile in den Brückenelementen die Magnetisierung der jeweiligen Biasschicht anzeigen,

Fig. 3 zeigt eine mögliche Variante zum Einprägen der gewünschten Magnetisierungsrichtungen in den Biasschichten der einzelnen Brückenelemente,

Fig. 4 eine mögliche Feldverteilung zur Formierung der unterschiedlichen Magnetisierungsrichtungen der Biasschichten, aufgeprägt durch eine Anordnung nach Fig. 3 und

Fig. 5 eine Anordnung von zwei zueinander senkrecht ausgerichteten Wheatstonebrücken nach Fig. 2.

Fig. 1a zeigt ein Siliziumsubstrat 1, welches bspw. durch thermische Oxidation mit einer  $\text{SiO}_2$ -Schicht 2 versehen ist. Auf dieses Substrat ist eine antiferromagnetische Schicht 3 aufgebracht, die bspw. aus  $\text{FeMn}$  oder  $\text{CoO}$  oder  $\text{NiO}$  oder einer Mischung aus  $\text{NiO}$  und  $\text{CoO}$  bestehen kann. Darauf befindet sich eine weichmagnetische Schicht 4, die durch die antiferromagnetische Schicht 3 gepinnt wird. Die Kombination dieses Doppelschichtsystems 3 und 4 wirkt wie eine hartmagnetische Schicht. Ebenso kann diese hartmagnetische Schichtpaket durch einen künstlichen Antiferromagneten 7 gebildet sein, wie in Fig. 1b schematisch angedeutet, welcher die Funktionen der Schichten 3 und 4 in sich vereinigt. Diesem Schichtpaket folgt weiterhin eine nichtmagnetische, elektrisch leitfähige Zwischenschicht 5 mit einer Dicke von 2 bis 5 nm, welche z. B. aus Kupfer besteht. Auf der Schicht 5 ist schließlich die eigentliche Sensorschicht 6, bestehend aus einem weichmagnetischen Material, wie z. B.  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ , aufgebracht. Aus diesem beschriebenen, ganzflächig auf das Substrat aufgetragenen Schicht-

paket sind in einem anschließenden Strukturierungsprozeß, der nicht Gegenstand der Erfindung ist, einzelne Brückenelemente für eine danach auszubildende Wheatstonebrücke in geeigneter Weise herausstrukturiert, so daß die Fig. 1a und 1b als seitlicher Schnitt durch ein einzelnes Brückenelement angesehen werden können.

Äußere, zu registrierende magnetische Felder, die in der Schichtebene liegen, sollen die Richtung der Magnetisierung der Sensorschicht 6 leicht ändern können, die Richtung der Magnetisierung der an die nichtmagnetische leitfähige Schicht 5 angrenzenden Schicht 4; 7 jedoch unverändert lassen. Der elektrische Widerstand ist dann bestimmt durch den Winkel, den die Richtung der Magnetisierung der Sensorschicht 6 mit der Richtung der Magnetisierung der an die nichtmagnetische leitfähige Schicht angrenzenden Schicht 4; 7 bildet.

Fig. 2 zeigt eine prinzipielle Anordnung der in Fig. 1a oder 1b dargestellten Widerstandselemente und deren Verschaltung zu einer Wheatstonevollbrücke 10. Dabei zeigen die innerhalb der Brückenelemente dargestellten Pfeile die Richtung der Magnetisierung der Biasschicht 4; 7 an, wie sie gemäß der Erfindung den zu einer Wheatstonevollbrücke gehörigen einzelnen Brückenelementen 11, 12, 13, 14 aufgebracht ist. Die dünner ausgeführten Pfeile deuten die Richtung der einem äußeren Feld H folgenden Magnetisierung in der Sensorschicht 6 an. Die einzelnen Brückenelemente 10, 11, 12, 14 sind als Streifenleiter ausgeführt, denen im Rahmen der Erfindung beliebige Strukturen, bspw. mäandrierte Strukturen, gegeben sein können. Wesentlich ist lediglich die magnetische Ausrichtung der Biasschichten 4; 7 innerhalb der Streifenleiter. Streifenleiter, denen eine parallele Magnetisierung gegeben ist, sollen bevorzugt räumlich eng zueinander benachbart angeordnet sein. Fig. 2 zeigt dabei die grundsätzliche Anordnung der einzelnen Brückenelemente innerhalb einer Wheatstonebrücke 10, bei der für die einzelnen Wheatstonebrückenelemente 11, 12, 13, 14 Dünnschichtstreifenleiter bestehend aus einem Spin-Valve-Schichtsystem eingesetzt sind, wobei die je eine Halbbrücke bildenden Brückenelemente, im Beispiel sind dies die Brückenelemente 11 und 12, 13 und 14, in solcher Weise miteinander elektrisch verschaltet und angeordnet sind, daß das erste Brückenelement 11 der ersten Halbbrücke 11, 12 mit dem zweiten Brückenelement 14 der zweiten Halbbrücke 13, 14 benachbart zu einer Achse X-X dem ersten Brückenelement 13 der zweiten Halbbrücke 13, 14 und dem zweiten Brückenelement 12 der ersten Halbbrücke 11, 12 gegenübersteht und den auf je einer Halbseite h1, h2 zusammengefaßten Brückenelementen [11 und 14 auf der Halbseite h1, 12 und 13 auf der zweiten Halbseite h2] jeweils eine parallele Magnetisierung aufgebracht ist, wie es durch innerhalb der Brückenelemente angebrachte dicke Pfeile dargestellt ist, wobei die Magnetisierung der Brückenelemente 11 und 14, 12 und 13 sich gegenüberstehender Halbseiten h1, h2 zueinander antiparallel festgelegt ist. Ein äußeres magnetisches Feld H, dessen Richtung durch einen dicken Pfeil neben der Wheatstonebrücke 10 angedeutet ist, bewirkt eine einheitliche Verdrehung der Magnetisierung innerhalb der Sensorschicht 6 der einzelnen Brückenelemente 11, 12, 13, 14, wie es dünne, den Brückenelementen zugeordnete Pfeile andeuten. Die Spannungsversorgung der Wheatstonebrücke 10 mit einer Spannung U erfolgt zwischen den Kontaktstellen 121 und 122, der Brückenabgriff zwischen den Kontaktstellen 111 und 112.

Um die nach Fig. 2 angedeuteten antiparallelen Magnetisierungen der einzelnen Brückenelemente zu erzeugen, bedarf es für relativ kleine Flächen, die von einer Wheatstonebrücke eingenommen werden, welche in der Größenordnung von i.a. 1–4 mm<sup>2</sup> liegen, lokaler hoher und in ihrer

Richtung antiparalleler Magnetfelder. Dazu wird zumindest eine nach Fig. 2 ausgebildete Wheatstonebrücke 10, zur Formierung der Magnetisierung innerhalb der Biasschicht(en) in das Feld zweier sich mit gleichnamigen Polen dicht benachbart gegenüberstehender magnetischer oder magnetisierbarer Körper 8 eingebracht, wie es in Fig. 3 schematisch angedeutet ist. Dabei kann beispielsweise eine Magnetanordnung, bestehend aus NdFeB-Hartmagneten Verwendung finden. Besitzen diese Magnete bspw. eine Breite von 8 mm, eine Höhe von 10 mm und eine in Richtung senkrecht zur Zeichenebene beliebige Ausdehnung, sind bei einer Beabstandung d von ca. 1 mm, in Bereichen von 2–3 mm Feldstärken von  $\geq 1$  T erreichbar. Der mit wenigstens einer Wheatstonebrücke versehene Chip muß dann so aufgebaut sein, daß sich zwischen den magnetfeldempfindlichen Brückenelementen, mit Bezug auf die Fig. 2 sind dies in Fig. 3 die Brückenelemente 11, 13, hinter denen sich die nicht dargestellten Brückenelemente 14, 12 befinden, ein Abstand von ca. 4 mm verbleibt, in dem bspw. die erforderlichen Leitbahnen zur Verschaltung der Wheatstonebrücke verlegt sein können. Bevorzugt sind natürlich auf dem Chip eine Vielzahl von Wheatstonebrücken hintereinander und in Streifen nebeneinander angeordnet, so daß für jeweils einen Streifen eine Formierung mit einer Anordnung nach Fig. 3 vorgenommen werden kann.

In Fig. 4 ist die Feldverteilung dargestellt, wie sie sich nach Fig. 3 ergibt. Die im Spalt d markierten fetten Pfeile geben die Richtung des auf den Chip wirkenden Feldes an, wenn es in der Mitte des Spaltes angeordnet wird. Dazu sind schematisch in Fig. 4 die Komponente des Magnetfeldes parallel zum Spalt am Ort der Mitte des Spaltes angegeben. Setzt man eine Mindestfeldstärke von  $H_{\min}$  für die Formierung an, so muß der Chip im Spalt so angeordnet werden, daß sich die feldempfindlichen Teile der Wheatstonebrücke in den Bereichen 9a und 9b befinden.

Ebenso ist eine Ausbildung der Polschuhe als stabförmige Magneten, wie in Fig. 5 in Kreisform dargestellt, möglich und dann vorteilhaft, wenn eine flächige Verteilung des Formierungsfeldes gewünscht wird, was bspw. zur gleichzeitigen Formierung zweier zueinander senkrecht angeordneter Wheatstonebrücken 10 und 10' erforderlich sein kann.

Alle in der Beschreibung, den nachfolgenden Ansprüchen und der Zeichnungen dargestellten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Substrat
- 2 SiO<sub>2</sub>-Schicht
- 3 antiferromagnetische Schicht
- 4 ferromagnetische Schicht, gepinnt an 3
- 5 leitfähige nichtmagnetische Schicht
- 6 Weichmagnetische Schicht
- 7 Künstlicher Antiferromagnet
- 8 Permanentmagnet
- 10, 10' Wheatstonebrücke
- 11, 12, 13, 14 Brückenelemente der Wheatstonebrücke 10
- 111, 112 Abgriff der Wheatstonebrücke
- 121, 122 Potentialversorgung der Wheatstonebrücke
- 9 a, 9b Lage der magnetfeldempfindlichen Bereiche des Chips
- d Spaltbreite.

#### Patentansprüche

1. GMR-Sensor mit neuartiger Wheatstonebrücke, dadurch gekennzeichnet, daß für die einzelnen Wheat-

stonebrückenelemente (11, 12, 13, 14) Dünnschicht-  
streifenleiter, bestehend aus einem Spin-Valve-  
Schichtsystem, eingesetzt sind, wobei die je eine Halb-  
brücke bildenden Brückenelemente (11 und 12; 13 und  
14) in solcher Weise miteinander elektrisch verschaltet  
und angeordnet sind, daß das erste Brückenelement  
(11) der ersten Halbbrücke (11, 12) mit dem zweiten  
Brückenelement (14) der zweiten Halbbrücke (13, 14)  
benachbart zu einer Achse (X-X) dem ersten Brücken-  
element (13) der zweiten Halbbrücke (13, 14) und dem  
zweiten Brückenelement (12) der ersten Halbbrücke  
(11, 12) gegenübersteht und den auf je einer Halbseite  
(h1; h2) zusammengefaßten Brückenelementen (11  
und 14; 12 und 13) jeweils eine parallele Magnetisie-  
rung aufgeprägt ist, wobei die Magnetisierung der  
Brückenelemente (11 und 14; 12 und 13) sich gegen-  
überstehender Halbseiten (h1, h2) zueinander antipar-  
allel festgelegt ist.

2. GMR-Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß genannte Brückenelemente (11, 14) und  
(13, 12) bezüglich der Achse (X-X) einander spiegel-  
symmetrisch gegenüberstehend angeordnet sind.

3. GMR-Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Brückenelemente (11, 14 und 12, 13),  
welche eine parallele Magnetisierung aufweisen, räum-  
lich eng benachbart zueinander angeordnet sind.

4. GMR-Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß die den Brückenelementen (11 und  
14; 13 und 12) in den Funktionsschichten (4; 7) aufge-  
prägte Magnetisierung durch zwei sich mit gleichnami-  
gen Polen gegenüberstehende magnetisierte oder ma-  
gnetisierbare Körper (8), die durch einen schmalen  
Spalt (d) zueinander beabstandet sind, in den die zu  
magnetisierenden Brückenelemente (11 bis 14) ein-  
bringbar sind, erzeugt ist.

5. GMR-Sensor nach Anspruch 4, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die magnetisierten oder magnetisierbaren  
Körper (8) derart dimensioniert sind, daß von dem von  
ihnen ausgehenden magnetischen Feld wenigstens eine  
Wheatstonevollbrücke (10), bestehend aus zwei Halb-  
brücken (11, 14 und 12, 13), erfaßt ist.

6. GMR-Sensor nach einem der vorstehenden Ansprü-  
che, dadurch gekennzeichnet, daß zwei zueinander  
senkrecht stehende Wheatstonebrücken (10, 10') von  
einem Magnetfeld zweier stabförmiger Magneten (8)  
erfaßbar sind.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

50

55

60

65

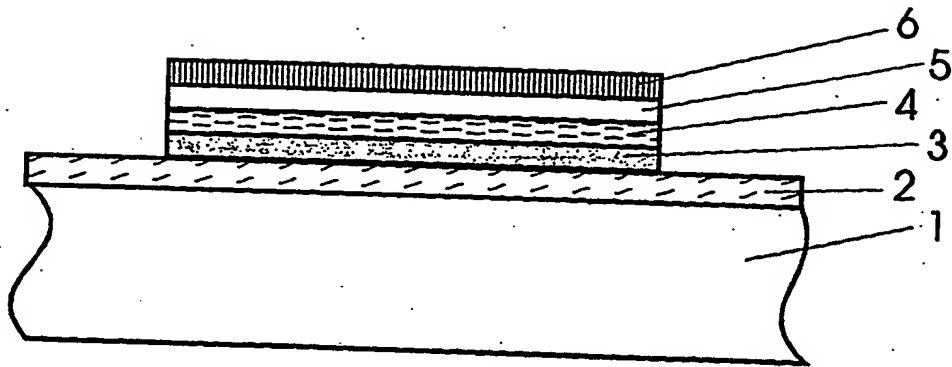


Fig. 1a

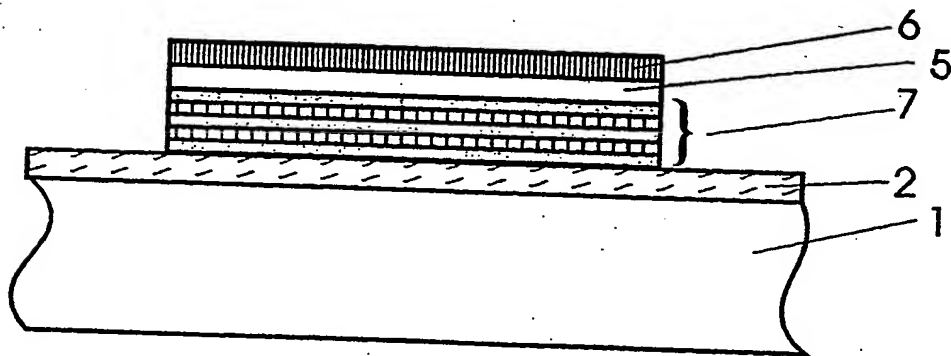


Fig. 1b

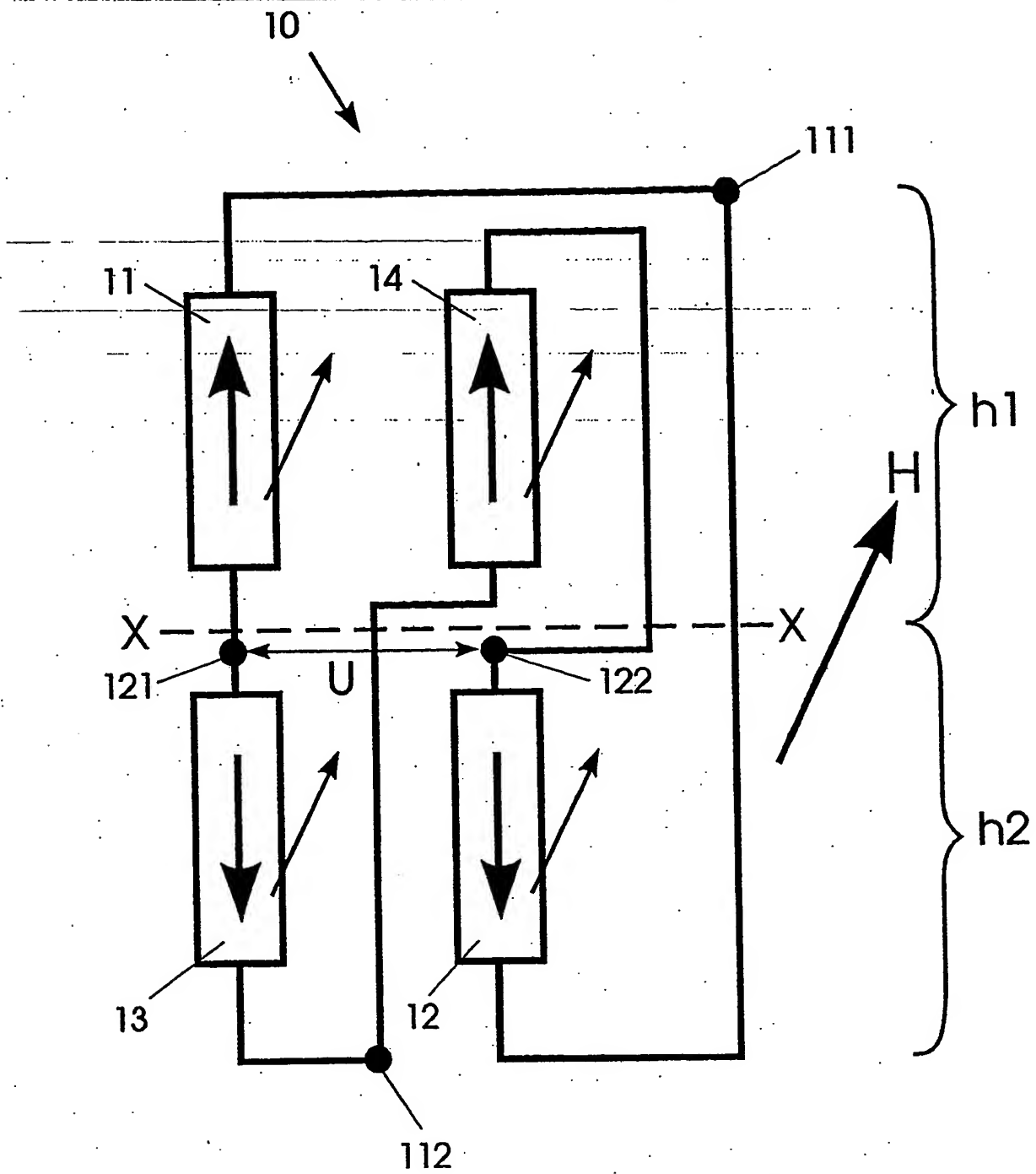


Fig. 2

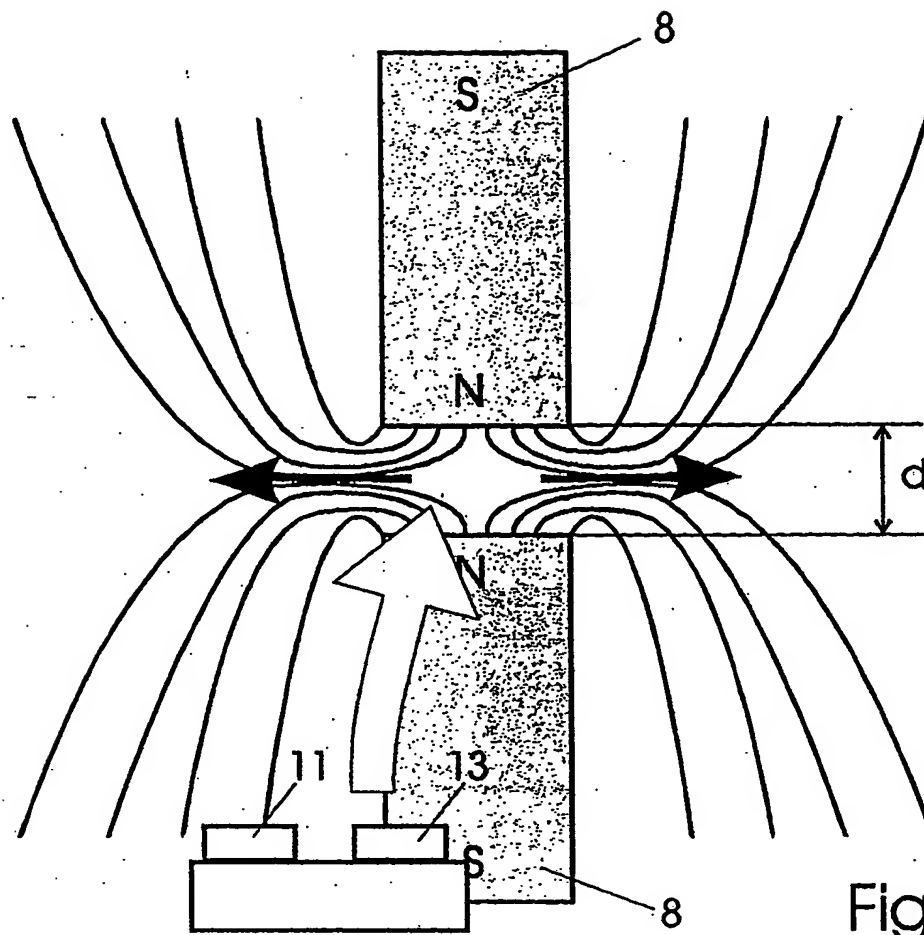


Fig. 3

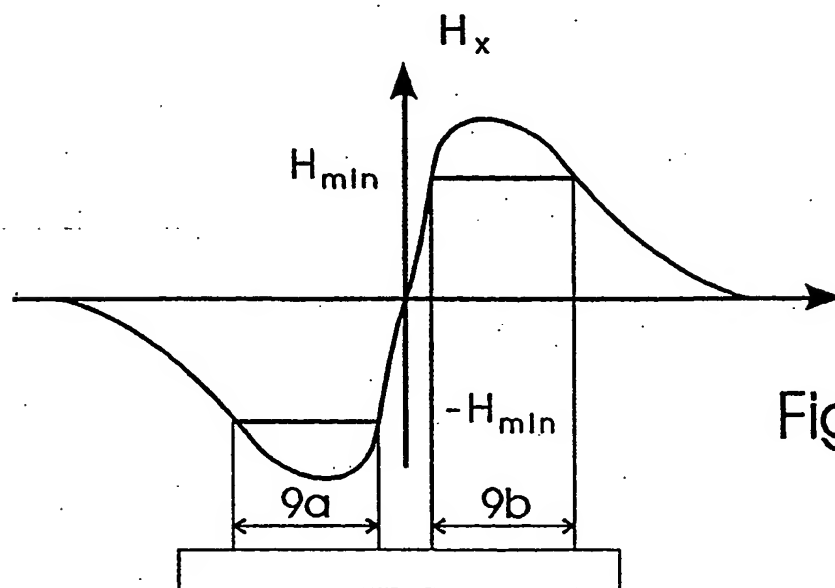


Fig. 4

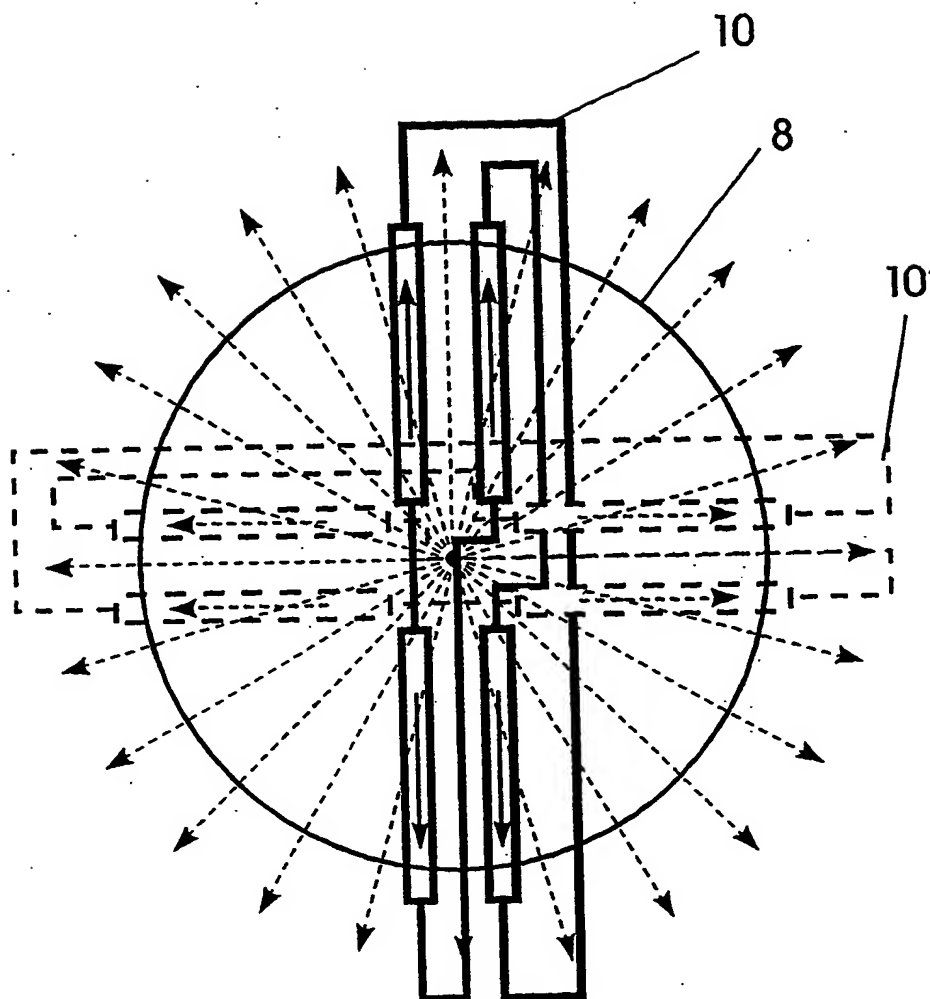


Fig. 5



(DE 196 49 265 A1)

## Description

The invention relates to a GMR sensor comprising a new type of Wheatstone bridge using Giant Magnetoresistive materials (GMR) which, in regard to the magnetoresistive effect thereof, have isotropic properties and a very large magnetoresistive effect. Such sensors are used preferentially for the measurement of small magnetic fields and are employed in the measuring field as non contact making angle detectors.

For the purposes of measuring the size and direction of magnetic fields in the state of the art, use has been made of magnetoresistive conductive strips which are anisotropic in regard to the magnetoresistive properties thereof and are generally connected up in the form of a Wheatstone bridge (c.f. e.g. DD 256 628, DE 43 17 512). The magnetoresistive conductive strips being employed therein exhibit anisotropic changes of resistance under the influence of an external magnetic field, this being a desirable property for the intended purpose thereof e.g. as elements for sensing angular rotation. However, such conductive strips, based on permalloy for example, only display, at most, changes of resistance of approximately 2-3% for which reason, a relatively high outlay in electronic and manufacturing complexity must be expended.

Moreover, materials or constructions having a so-called giant magnetoresistance are also known (c.f. e.g. S.P.P. Parkin et al, Oscillatory magnetic exchange coupling through thin copper layers, Phys. Rev. Letters, volume 66, P. 2152 et seq., 1991 and R. von Helmolt et al, Giant Negative Magnetoresistance in Perovskite-like  $\text{La}_{2/3}\text{Ba}_{1/3}\text{MnO}_x$  Ferromagnetic Films, Phys. Rev. Letters, volume 71, No. 14, P. 2331 et seq., 1993). These classes of materials or constructions exhibit magnetoresistive resistance effects which exceed those of the usually used magnetoresistive materials by one or several orders of magnitude. However, the disadvantage of these materials for the intended purpose is that they do not exhibit an anisotropic resistance effect.

Magnetoresistive sensors are used in known manner in the form of Wheatstone bridges in order to minimize or totally suppress environmental influences such as changes of temperature on the measuring signal. The structure of such Wheatstone bridges presupposes that the neighbouring bridge arms in one half-bridge behave in an opposite manner in regard to the magnetoresistive change of resistance under the effects of an external magnetic field. This is realizable in a comparatively simply manner when using anisotropic magnetic materials such as the permalloy

(Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>) used in classic MR sensors in that the direction of the current flowing in the magnetoresistive bridge arms is impressed differently due to the two MR conductive strips within a half-bridge being aligned mutually perpendicularly, or, by the use of Barber poles. However, in the case of isotropic resistance systems, e.g. systems using the giant magnetoresistive effect, the solutions used so far do not lead to a satisfactory result. One possible solution for angle of rotation sensors for anti-ferromagnetically coupled multi-layer arrangements or layer systems using a colossal magnetoresistive effect was indicated in DE 195 32 674 C1 for example. There, an alteration of the magnetic fields effective on the neighbouring bridge arms was achieved by a suitably shaped geometry of soft-magnetic antenna geometries effective as a magnetic collector. This solution does indeed produce the desired effect but it is associated with additional structures and difficult structuring processes and is only suitable for the measurement of an angle of rotation.

Furthermore, layer systems utilising a so-called spin valve effect are known, these preferably being used for the detection of small fields or else for the detection of angles (c.f. e.g. DE 43 01 704 A1). The factor common to these layer systems is that they consist of magnetic monolayers, wherein, ideally, a sensor layer is easily magnetically rotatable and a bias layer is magnetically immovable. Up to now, these layers could only be operated as individual magnetoresistive strip sensors with the aid of which comparatively high signals are in fact achievable, but wherein every other sort of influence such as variations in temperature also affect the measuring signal.

The object of the present invention is to provide a magnetoresistive Wheatstone bridge circuit which enables spin valve layer systems to be used for the individual bridge elements.

This object is achieved by the characterising features of the first Claim. The essence of the invention lies in a new type of mutual arrangement of the individual bridge elements within a Wheatstone bridge, whereby the entire arrangement comprising at least one Wheatstone bridge has experienced a uniform magnetic forming process for the purposes of impressing defined directions of magnetization within the bias layers of the individual bridge elements.

The invention will be explained hereinafter in more detail with the aid of an exemplary embodiment and the schematic drawings. Therein:

Fig. 1a shows the structure of a spin valve layer system incorporating a hard-magnetic bias layer formed by an anti-ferromagnetic layer as well as a ferromagnetic layer, and a soft magnetic sensor layer,

Fig. 1b the structure of a spin valve layer system incorporating a synthetic anti-ferromagnet in the form of a hard magnetic bias layer and a soft magnetic sensor layer,

Fig. 2 the structure, in principle, of a complete Wheatstone bridge having four bridge arms which are each formed from a spin valve layer system as depicted in Fig. 1a or Fig. 1b, wherein the arrows in the bridge elements indicate the magnetization of the respective bias layer,

Fig. 3 shows a possible variant for impressing the desired directions of magnetization into the bias layers of the individual bridge elements,

Fig. 4 a possible field distribution for forming the different directions of magnetization in the bias layers, these being impressed by an arrangement as depicted in Fig. 3 and

Fig. 5 an arrangement of two, mutually perpendicularly aligned Wheatstone bridges as depicted in Fig. 2.

Fig. 1a shows a silicon substrate 1 which is provided with an  $\text{SiO}_2$  layer 2 by means of a thermal oxidation process for example. An anti-ferromagnetic layer 3, which may consist of FeMn or CoO or NiO or a mixture of NiO and CoO for example, is applied to this substrate. A soft magnetic layer 4, which is pinned by the anti-ferromagnetic layer 3, is located thereon. The combination of this double layer system 3 and 4 functions as a hard magnetic layer. This hard magnetic layer package can likewise be formed, as indicated schematically in Fig. 1b, by a synthetic anti-ferromagnet 7 which combines the functions of the layers 3 and 4. This layer package is followed by a further non-magnetic, electrically conductive intermediate layer 5 having a thickness of from 2 to 5 nm and consisting e.g. of copper. Finally, the actual sensor layer 6 consisting of a soft magnetic material such as e.g.  $\text{Ni}_{81}\text{F}_{19}$  is applied to the layer 5. The individual bridge elements for a Wheatstone bridge which is to be formed thereafter in an appropriate way are then structured in a following structuring process, which is not the subject

of the invention, from the above described layer package applied flatly to the substrate, so that Figs. 1a and 1b can be regarded as being lateral sections through an individual bridge element.

The external magnetic fields, which are to be registered and which lie in the plane of the layer, should be able to easily change the direction of magnetization of the sensor layer 6, but leave the direction of magnetization of the layer 4; 7 bordering the non-magnetic conductive layer 5 unaltered. The electrical resistance is then determined by the angle which is formed between the direction of magnetization of the sensor layer 6 and the direction of magnetization of the layer 4; 7 bordering the non-magnetic conductive layer.

Fig. 2 shows, in principle, an arrangement of the resistance elements illustrated in Fig. 1a or 1b and the way in which they are connected together to form a full Wheatstone bridge 10. Hereby, the arrows illustrated within the bridge elements show the direction of magnetization of the bias layer 4; 7 which, in accordance with the invention, has been impressed on the individual bridge elements 11, 12, 13, 14 appertaining to a full Wheatstone bridge. The more thinly implemented arrows indicate the direction of magnetization in the sensor layer 6 following an external field  $H$ . The individual bridge elements 10, 11, 12, 14 are implemented in the form of conductive strips which may, within the framework of the invention, have arbitrary structures, for example, meandering structures. The essential feature is merely that of the magnetic alignment of the bias layers 4; 7 within the conductive strips. It is preferable for the conductive strips that are magnetized in parallel to be adjacently arranged such that they are spatially close together. Fig. 2 thereby shows the fundamental arrangement of the individual bridge elements within a Wheatstone bridge 10 wherein thin layered strip conductors consisting of a spin valve layer system are employed for the individual Wheatstone bridge elements 11, 12, 13, 14, whereby the bridge elements forming each half-bridge, in the example these are the bridge elements 11 and 12, 13 and 14, are arranged and electrically interconnected in such a way that the first bridge element 11 in the first half-bridge 11, 12 and the second bridge element 14 in the second half-bridge 13, 14 neighbouring an axis X-X are located opposite the first bridge element 13 in the second half-bridge 13, 14 and the second bridge element 12 in the first half-bridge 11, 12, and that parallel magnetization is impressed on each of the bridge elements forming one half side  $h_1$ ,  $h_2$  [11 and 14 in the half side  $h_1$ , 12 and 13 in the half side  $h_2$ ], as is illustrated by the thick arrows drawn within the bridge elements, whereby the magnetization of the bridge elements 11 and 14, 12 and 13 in the mutually opposite half sides  $h_1$ ,  $h_2$  is defined to be mutually anti-parallel. An external magnetic field  $H$ , whose direction is indicated by a thick arrow beside the

Wheatstone bridge 10, causes a uniform rotation of the magnetization within the sensor layer 6 of the individual bridge elements 11, 12, 13, 14, as is indicated by the arrows associated with the bridge elements. The voltage supply for the Wheatstone bridge 10 is provided by a potential  $U$  between the contact points 121 and 122, the bridge tapping points being between the contact points 111 and 112.

In order to produce the anti-parallel magnetizations of the individual bridge elements indicated in Fig. 2, locally high magnetic fields whose directions are anti-parallel are needed for relatively small surfaces such as are adopted for a Wheatstone bridge and which are generally in the order of magnitude of  $1 - 4 \text{ mm}^2$ . To this end, at least one Wheatstone bridge 10 formed in accordance with Fig. 2 is inserted into the field of two closely adjacent, oppositely located, like-poled magnetic or magnetizable bodies 8 for the purposes of forming the magnetization within the bias layer (s), as is schematically illustrated in Fig. 3. Hereby for example, a magnet arrangement consisting of NdFeB hard magnets could be used. If, for example, the width of these magnets is 8 mm, the length is 10 mm and they extend to an arbitrary extent perpendicularly to the plane of the drawing, then, for a spacing  $d$  of approximately 1 mm, field strengths of  $\geq 1 \text{ T}$  are attainable within ranges of 2 - 3 mm. The chip provided with at least one Wheatstone bridge must then be constructed in such a way that a distance of approximately 4 mm remains between the magnetic field sensitive bridge elements, taken with reference to Fig. 2, these are the bridge elements 11, 13 in Fig. 3 behind which the not illustrated bridge elements 14, 12 are located, in which space, for example, the necessary conductive tracks for interconnecting the Wheatstone bridge can be placed. Naturally, it is preferred that a plurality of Wheatstone bridges that are located one behind the other and disposed next to each other in strips should be provided on the chip so that a formation having an arrangement in accordance with Fig. 3 can be effected for each respective strip.

The field distribution resulting from the arrangement of Fig. 3 is illustrated in Fig. 4. The fat arrows marked in the gap  $d$  indicate the direction of the field effective on the chip when it is arranged in the centre of the gap. To this end, the components of the magnetic field parallel to the gap in the vicinity of the centre of the gap are schematically indicated in Fig. 4. If one sets a minimum field strength of  $H_{\min}$  for the forming process then the chip must be arranged in the gap in such a way that the field-sensitive parts of the Wheatstone bridge are in the regions 9a and 9b.

An arrangement of the pole pieces in the form of bar-shaped magnets arranged in a circle as illustrated in Fig. 5 is likewise possible and is then advantageous if it is wished to have a laminar distribution of the forming field, this being something which, for example, may be necessary in order to simultaneously form two mutually perpendicular Wheatstone bridges 10 and 10'.

All of the features illustrated in the description, in the following Claims and in the drawings can be combined with one another both individually and in any arbitrary combination within the essence of the invention.

#### List of reference symbols

1	substrate
2	SiO <sub>2</sub> layer
3	anti-ferromagnetic layer
4	ferromagnetic layer, pinned to 3
5	conductive non-magnetic layer
6	soft magnetic layer
7	synthetic anti-ferromagnet
8	permanent magnet
10, 10'	Wheatstone bridge
11, 12, 13, 14	bridge elements of the Wheatstone bridge 10
111, 112	tapping points of the Wheatstone bridge
121, 122	voltage supply for the Wheatstone bridge
9a, 9b	layers of the magnetic field sensitive portions of the chip
d	gap width.

## Claims

1. A GMR sensor utilising a new type of Wheatstone bridge, characterized in that thin layered conductive strips consisting of a spin valve layer system are used for the individual Wheatstone bridge elements (11, 12, 13, 14), wherein the bridge elements (11 and 12; 13 and 14) forming each half-bridge are electrically interconnected and arranged in such way that the first bridge element (11) in the first half-bridge (11, 12) and the second bridge element (14) in the second half-bridge (13, 14) neighbouring an axis (X-X) are located opposite the first bridge element (13) in the second half-bridge (13, 14) and the second bridge element (12) in the first half-bridge (11, 12) and that a respective parallel magnetization is impressed on each of the bridge elements (11 and 14; 12 and 13) forming a half side (h1, h2), whereby the magnetization of the bridge elements (11 and 14, 12 and 13) in the mutually opposite half sides (h1, h2) is defined to be mutually anti-parallel.
2. A GMR sensor according to Claim 1, characterized in that said bridge elements (11, 14) and (13, 12) are arranged such that they are facing each other mirror-symmetrically with respect to the axis (X-X).
3. A GMR sensor according to Claim 1, characterized in that the bridge elements (11, 14 and 12, 13), which exhibit a parallel magnetization, are arranged such that they are spatially closely adjacent to each other.
4. A GMR sensor according to Claim 1 or 2, characterized in that the magnetization impressed on the bridge elements (11 and 14; 13 and 12) in the functional layers (4; 7) is produced by two oppositely located, like-poled magnetized or magnetizable bodies (8) which are spaced from one another by a narrow gap (d) into which the bridge elements that are to be magnetized (11 to 14) are adapted to be inserted.
5. A GMR sensor according to Claim 4, characterized in that the magnetized or magnetizable body (8) is dimensioned in such a manner that at least one full Wheatstone bridge (10) consisting of two half-bridges (11, 14 and 12, 13) is intercepted by the magnetic field emanating therefrom.

6. A GMR sensor according to any of the preceding Claims, characterized in that two mutually perpendicular Wheatstone bridges (10, 10') are adapted to be intercepted by a magnetic field produced by two bar-shaped magnets (8).

4 sheets of drawings are attached hereto



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**